

氏名	宮 脇 昇 一		
学 位 の 種 類	博 士 (理 学)		
学 位 記 番 号	第 3862号		
学位授与年月日	平成12年12月27日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当者		
学 位 論 文 名	1 μm 平行平板内における超流動 ^3He (Superfluid ^3He in 1 μm slab geometry)		
論文審査委員	主 査 教 授	畑 徹	副主査 教 授 唐沢 力
	副主査 助教授	石川 修六	副主査 助教授 坪田 誠

論 文 内 容 の 要 旨

超流動 ^3He は、 ^3He 準粒子がBCS型の対凝縮を起こした状態である。超伝導の場合とは異なり ^3P 対を形成するので、そのオーダーパラメータは多くの自由度を持つ。これにより、超流動 ^3He は非常に興味深い振る舞いを示す。

超流動 ^3He クーパ対のコヒーレンス長が無視できない程度の狭い空間では、超流動状態に対する境界面の影響がマクロに現れる。本実験では空間サイズや境界面の状態が超流動転移温度やA-B相転移温度にどのような影響を及ぼすのかを系統的に調べるため、直径1 μm のラテックス球をスペーサとしてポリエチレンフィルムを積み重ねることにより高い均一度を持つ1 μm 間隔の平行平板空間を作成した。この平板に対して平行な静磁場をかけた状態で、cwNMR法およびパルスNMR法を用いて、この空間内に閉じこめられた液体 ^3He の物性を1、10、20、24、27barの各圧力で測定した。

^3He だけを隙間に閉じこめた状態でcwNMR周波数シフトの温度依存性を超流動温度域で測定すると、10、20、24、27barの各圧力において特定の温度で周波数シフトに不連続点が存在する事が判明した。そこで27barにおいて、この温度より高温側でパルスNMRの測定を行うと、FID(Free Induction Decay) 周波数のチップ角依存性はバルク液体のA相と同様の振る舞いをする事が判明した。また10barでは、この不連続点の出現する温度が実験系の温度履歴に影響を受ける過冷却現象も観測された。この過冷却現象は1次の相転移における特徴的な現象である。一方、それぞれの圧力で超流動温度域における磁化の温度依存性を見積もってみると、この温度より高温側においては磁化は温度に対して一定で、低温側では温度の低下と共に磁化が減少していく事が判明した。

以上の結果と超流動 ^3He の物理的性質を比較することにより、この特徴的な温度でA相からB相への相転移が起こっていると結論づけた。各圧力において得られたA-B相転移温度は、バルク液体に対して約15%抑制された。これにより超流動 ^3He の相図(温度と圧力)上でA相の領域がバルク液体に比べて広がり、定性的に理論的予想と一致する結果となった。また非常に均一な狭間分布を持つ平行平板間では、たいへん鋭い相転移が起こること、2相共存しないことを実験的に明らかにした。

10、24barの圧力においては、フィルム表面に ^4He を吸着させることにより、表面の状態を変えて実験を行った。これによりcwNMR周波数シフト量は増大し、周波数シフト量がフィルム表面の影響を強く受けているのがわかった。また24barで得られたA-B相転移温度は、フィルム表面吸着 ^4He 層の厚さが増大するにつれて上昇する結果となった。これは狭い空間内での相転移に対する理論的予想とは反対の結果であり、今後更なる検証が必要な現象であることがわかった。

論文審査の結果の要旨

本論文は、液体ヘリウム3を $1\mu\text{m}$ という狭い隙間の平行平板内に閉じ込めたとき、その超流動性にどのような変化が生じるかを調べたものである。

液体ヘリウム3はmKの温度域で、流れに対する抵抗である粘性のない状態、即ち超流動に転移する。超流動相はフェルミ粒子であるヘリウム3原子が対を形成しボーズ粒子的に振る舞い凝縮した結果と考えられている。この対形成には多数の粒子の関与が必要なことから、超流動性を示すにはある有限の大きさが必要となる。また、この対は角運動量が1のスピン3重項状態であるため、超流動相にも複数の相(A相、B相、A1相)が実現している。理論的には、平行平板内では異方的なA相がより安定化され、バルクと比べてA相の領域が広がると予測されていたが、実験的にA-B転移を鮮明に捉えたものはなく、本論文が初めてである。

筆者は、均一度の高い平行平板の作成に成功し、ヘリウム3のNMR測定を行うことによって、

1. NMR共鳴周波数はある特定の温度でジャンプすること、
2. パルスNMRにより、この温度より高温側はA相であること、
3. 磁化の温度依存性より、この温度より低温側はB相であること、

を見出し、 $1\mu\text{m}$ 空間内のA-B相転移を明確にした。さらに、

4. 圧力と温度の相図上にA-B相転移温度を図示することにより、バルク液体に比べA相の領域は広がっていることを示した。このA相の安定化は理論予測どおりであったが、
5. 平板表面にヘリウム4をコートすることにより、表面での準粒子の散乱条件をかえたところ、理論予測に反し、A-Bの転移温度は上昇した。

以上のように、本論文は制限された空間内での液体ヘリウム3の超流動相の安定性を実験的に明らかにし、かつ新しい理論の必要性を示唆する重要な知見を得ている。したがって、本委員会は、本論文が制限された空間内での液体ヘリウム3の超流動性の理解を前進させるものであり、博士(理学)の学位を授与するに値するものであると審査した。